

НАЦИОНАЛЕН ФОРУМ
ЕЛЕКТРОННИ,
ИНФОРМАЦИОННИ И
КОМУНИКАЦИОННИ СИСТЕМИ
2013

ЕЛЕКТРОННИ, ИНФОРМАЦИОННИ И КОМУНИКАЦИОННИ СИСТЕМИ 2013

Национален дом на науката и техниката
16 и 17 Май 2013 г., София

НАЦИОНАЛЕН ФОРУМ

**"ЕЛЕКТРОННИ,
ИНФОРМАЦИОННИ И
КОМУНИКАЦИОННИ
СИСТЕМИ 2013"**

ДОКЛАДИ

16 и 17 май 2013 г., София

**Национален дом на науката и техниката
ул. "Раковски" № 108**

ТЕМАТИЧНИ НАПРАВЛЕНИЯ:

- **Електронни технологии и системи**
- **Информационни технологии и системи**
- **Комуникационни технологии и системи**

ISSN 1314-8605

НАЦИОНАЛНИЯТ ФОРУМ "ЕИКС" 2013

е организиран от

Съюза по електроника, електротехника и съобщения (СЕЕС),

Техническият университет – София (ТУ-София) и

Федерацията на научно-техническите съюзи (ФНТС) в България,

със съдействието на :

Съюза по автоматика и информатика (САИ),

Българската академия на науките (БАН),

Техническият университет - Варна,

Техническият университет - Габрово,

Русенският университет "Ангел Кънчев",

ВУ "Колеж по телекомуникации и пощи",

Клъстера "Микроелектроника и индустриални електронни системи" (КМИЕС),

ZMDI (Zentrum Mikroelektronik Dresden AG - Sofia Office),

Smartcom Bulgaria AD,

Балкантел ООД и

IEEE - българска секция.

Национален форум "ЕЛЕКТРОННИ, ИНФОРМАЦИОННИ И КОМУНИКАЦИОННИ СИСТЕМИ 2013"

Почетни председатели: проф. д-р Марин Христов - ТУ-София и СЕЕС
проф. д-р Иван Ячев - ФНТС и ТУ-София

Организационен комитет

Председатели: доц. д-р Емил Манолов - ТУ-София и СЕЕС
доц. д-р Сеферин Мирчев - СЕЕС и ТУ-София

Научни секретари:

доц. д-р Николай Хинов – ТУ-София и СЕЕС
доц. д-р Димитър Арнаудов – СЕЕС и ТУ-София

Членове:

проф. д-р Георги Михов - ТУ-София
проф. д-р Овид Фархи – ТУ-Варна
проф. д-р Христо Белоев – РУ "А. Кънчев"-Русе
проф. д-р Райчо Иларионов - ТУ-Габрово
чл.кор. проф. д-р Георги Младенов – СЕЕС
чл.кор. проф. д-р Ангел Попов –
СУ "Св. Кл. Охридски"
проф. д-р Антони Славински - АСТЕЛ
проф. д-р Димитър Юдов – БСУ-Бургас и СЕЕС
доц. д-р Костадин Илиев – СЕЕС
доц. д-р Санка Гатева – ИЕ БАН
доц. д-р Елена Колева – ХТМУ
проф. д-р Иван Куртев – КТП – София
проф. д-р Огнян Наков – ТУ-София
проф. д-р Владимир Пулков – ТУ-София
проф. д-р Емил Николов - ТУ-София
доц. д-р Тодор Джамийков – ТУ-София
доц. д-р Иво Илиев – ТУ-София
доц. д-р Анатолий Александров – ТУ-Габрово
проф. д-р Николай Михайлов –
РУ "А. Кънчев" и СЕЕС
проф. д-р Георги Стоянов – ТУ-София
инж. Росица Голева – IEEE и ТУ-София
доц. д-р Йордан Колев – IEEE и ТУ-Варна
чл.кор. проф. д-р Филип Филипов – ТУ-София
акад. проф. д-р Васил Стурев – САИ
проф. д-р Михаил Илиев - РУ "А. Кънчев"

проф. д-р Ради Романски –
ТУ-София и СЕЕС
проф. д-р Кирил Конов – СЕЕС
проф. д-р Любен Тонев – СЕЕС
доц. д-р Мария Маринова - ТУ-Варна
доц. д-р Венцислав Вълчев - ТУ-Варна
доц. д-р Марин Маринов - ТУ-Варна
доц. д-р Минчо Симеонов - ТУ-Габрово
проф. д-р Иван Доцински – БАН
доц. д-р Иван Василев – СЕЕС
доц. Иван Шишков – СЕЕС
проф. д-р Тихомир Таков – ТУ-София
доц. д-р Петър Горанов - ТУ-София
доц. д-р Ана Андонова - ТУ-София
доц. д-р Петър Якимов - ТУ-София
проф. д-р Добри Добрев - ТУ-София
доц. д-р Никола Дурчев – Балкантел
доц. Румен Атанасов – БАСЕЛ
доц. д-р Николай Илиев – DATECS
доц. д-р Йордан Кисьов – RISK Electronics
д-р Любомир Гергов – Електрум
инж. Върбан Върбанов –
Оргтехника-Силистра
инж. Красимир Пингелов -
Електрон Прогрес
инж. Николай Беров - Соларпро

Секретариат:

доц. д-р Иван Василев – СЕЕС
доц. д-р Георги Ангелов – ТУ-София
инж. Николай Рангелов – ТУ-София

СЪДЪРЖАНИЕ

Румен АТАНАСОВ ЕЛЕКТРОТЕХНИКАТА И ЕЛЕКТРОНИКАТА В БЪЛГАРИЯ, СЪСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВИ.....	8
Никола ДУРЧЕВ ВИСКОТЕХНОЛОГИЧЕН ПЪТ НА РАЗВИТИЕ – ИНДУСТРИАЛИЗАЦИЯ И ИНОВАЦИИ В ОБЛАСТТА НА ИКТ.....	14
Peter PETROV PHYSICAL VAPOR DEPOSITION CARBON NITRIDE THIN FILMS.....	18
Mariya ALEKSANDROVA, Georgi DOBRIKOV, Georgi KOLEV and Ivelina CHOLAKOVA IMPROVEMENT OF THE INJECTION EFFICIENCY IN ORGANIC LIGHT EMITTING DEVICES BY ADDITIONAL SPRAY DEPOSITED HOLE TRANSPORTING LAYER.....	22
Krassimir DENISHEV MEMS MAGNETOMETER.....	28
Красимир ДЕНИШЕВ ПИЕЗОЕЛЕКТРИЧЕН ЕЛЕМЕНТ ОТ PVDF, С ГОЛЯМА ПЛОЩ, ИЗГОТВЕН ПОСРЕДСТВОМ ДЕБЕЛОСЛОЙНА ТЕХНОЛОГИЯ.....	34
Анна АНДОНОВА, Георги АНГЕЛОВ ИНФРАЧЕРВЕНА ТЕРМОГРАФСКА ОЦЕНКА НА ТЕХНИЧЕСКОТО СЪСТОЯНИЕ НА ФОТОВОЛТАИЧНИ МОДУЛИ.....	40
Кирил РАЙКОВ, Тихомир ТАКОВ МОДЕРНИЗАЦИЯ НА ЖИЧЕН БОНДЕР ЗА ОПРОВОДЯВАНЕ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВИ ЧИПОВЕ.....	46
А. БАНКОВА, В. ВИДЕКОВ ПНЕВМАТИЧНИ ИЗПИТВАНИЯ НА МЕМБРАНИ ОТ НАНОСТРУКТУРИРАН ОКСИД.....	51
В. ВИДЕКОВ, Б. ЦАНЕВА, А. СТРАТЕВ, М. МИТОВ ОПТИЧЕН КОНТРОЛ НА ПОЛИРАНИ МЕТАЛНИ МАСКИ.....	56
В. ВИДЕКОВ ЗАПЪЛВАНЕ НА МЕТАЛНИ МАСКИ СЪС СПОЙВАЩА ПАСТА.....	62
Elissaveta GADJEVA, Georgi VALKOV DEVELOPMENT OF NOISE SOURCES IN VERILOG-A.....	68
Цветан ШОШКОВ, Георги МИХОВ СУБТРАКЦИОННА ПРОЦЕДУРА ЗА ПРЕМАХВАНЕ НА ЕМГ СМУЩЕНИЯ ОТ ЕКГ СИГНАЛИ: АДАПТАЦИЯ ЗА РАБОТА В РЕАЛНО ВРЕМЕ С ПРОГРАМИРУЕМИ УСТРОЙСТВА.....	73
Кръстю КРЪСТЕВ АНАЛИТИЧНО ОПИСАНИЕ НА АСИНХРОНЕН ДВИГАТЕЛ С КАФЕЗЕН РОТОР ПРИ ВИСОКА СКОРОСТ НА ВЪРТЕНЕ.....	79
Кръстю КРЪСТЕВ, Емил РАЧЕВ, Радка КРЪСТЕВА ПРОГРАМЕН МОДЕЛ В МАТЛАВ/SIMULINK СРЕДА НА АСИНХРОНЕН ДВИГАТЕЛ С КАФЕЗЕН РОТОР ПРИ ВИСОКА СКОРОСТ НА ВЪРТЕНЕ.....	85
Нанко БОЗУКОВ, Марко ДИМИТРОВ ИНФОРМАЦИОННА ТЕХНОЛОГИЯ ЗА ОЦЕНКА НА ЕНЕРГИЙНОТО СПЕСТЯВАНЕ ПРИ ОБНОВЯВАНЕ НА ИЗОЛАЦИЯТА НА СГРАДИ.....	91
Нанко БОЗУКОВ, Марко ДИМИТРОВ ИНФОРМАЦИОННА ТЕХНОЛОГИЯ ЗА ОЦЕНКА НА ЕНЕРГИЙНОТО СПЕСТЯВАНЕ ПРИ ПОДМЯНА НА СЪЩЕСТВУВАЩ ИЛИ ЗАКУПУВАНЕ НА НОВ КОТЕЛ.....	95

Иван БОЗЕВ	
МАТЕМАТИЧЕН МОДЕЛ НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНАТА ИНДУКЦИЯ В ОБЛАСТИ С НУЛЕВА ГЪСТОТА НА МАГНИТНИЯ ПОТОК.....	99
Трифон ТРИФОНОВ, Огнян НАКОВ	
МЕТАМОДЕЛ ЗА СЪЗДАВАНЕ НА АДАПТИВНИ КУРСОВЕ В СИСТЕМИТЕ ЗА ЕЛЕКТРОННО ОБУЧЕНИЕ.....	106
Георги ПЕТРОВ, Филип АНДОНОВ	
ПЕРСПЕКТИВИ ПРЕД РАЗВИТИЕТО НА ОТВОРЕНИЯ ХАРДУЕР.....	112
Velimira TODOROVA, Dimo KOLEV	
PROBLEMS WHEN PROCESSING DATA FROM SOME MULTIPLE SENSOR SYSTEM....	120
Tsvetomir LAZAROV	
CPLD BASED FRAME CAPTURER.....	124
Stoyan NIKOLOV	
EMULATORS OF THE OUTPUT FROM SCINTILLATOR-BASED DETECTION SYSTEMS.....	129
Стоян НИКОЛОВ, Георги ЖЕЛЯЗКОВ	
ВИСОКОВОЛТОВИ ИЗТОЧНИЦИ НА ПОСТОЯННО НАПРЕЖЕНИЕ НА БАЗАТА НА РЕЗОНАНСЕН ОСЦИЛАТОР НА ROYER.....	135
Марин МАРИНОВ	
СЕНЗОРНА СИСТЕМА ЗА ЕНЕРГИЙНО-ЕФЕКТИВНА МНОГОЗОНОВА ВЕНТИЛАЦИЯ	141
Катя АСПАРУХОВА, Тодор ДЖАМИЙКОВ	
ШИРОКОДИНАМИЧЕН, НИСКОШУМЯЩ ФОТОПРИЕМЕН МОДУЛ ЗА ЛАБОРАТОРНИ ЦЕЛИ.....	147
Тодор ДЖАМИЙКОВ, Катя АСПАРУХОВА	
ГЕНЕРИРАНЕ НА СИГНАЛИ СЪС ЗАДАДЕНИ СТАТИСТИЧЕСКИ СВОЙСТВА ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ ПОВЕДЕНИЕТО НА ОПТОЕЛЕКТРОННИ СХЕМИ.....	153
Ивайло ПАНДИЕВ	
ОПТИМИЗАЦИЯ И ПРИЛОЖЕНИЕ НА МЕТОДИКА ЗА ПРОЕКТИРАНЕ НА ОСНОВНИТЕ УСИЛВАТЕЛНИ СХЕМИ С ОПЕРАЦИОННИ УСИЛВАТЕЛИ.....	160
Димитър ТОДОРОВ	
НАМАЛЯВАНЕ НА ШУМОВЕТЕ В ЕЛЕКТРОМЕТРИЧНИТЕ ТОКОВИ ИЗМЕРВАНИЯ.....	166
Димитър ТОДОРОВ	
РЕДАКТИРАНЕ НА ДАННИ В РЕАЛНО ВРЕМЕ В ЕЛЕКТРОМЕТРИЧНИТЕ ИЗМЕРВАТЕЛНИ УРЕДИ.....	172
Екатерина ДУДИН, Илия МИЛКОВСКИ	
ПРОГРАМА ЗА МОДЕЛИРАНЕ И СИМУЛАЦИЯ НА ШИРОКОЛЕНТОВ ХЕНДОВЪР РЕАЛИЗИРАН С ТРИПРИОРИТЕТНА СХЕМА.....	178
Филип ЦВЕТАНОВ, Димитър РАДЕВ	
ИНСТРУМЕНТИ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА НИСКΟΣКОРОСТНИ МРЕЖИ.....	184
Елица ГОСПОДИНОВА	
ОБОБЩЕН МОДЕЛ НА СИГУРНОСТТА В WLAN.....	190
Боян ЖЕКОВ, Ирина ВАСИЛЕВА	
ЕЛЕКТРОННО УПРАВЛЕНИЕ И ЕЛЕКТРОННА ТЪРГОВИЯ – ПЕРСПЕКТИВИ И ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВА. ОТВОРЕНИ ДАННИ.....	196
Петър АПОСТОЛОВ, Алексей СТЕФАНОВ	
ШИРОКОЛЕНТОВА МИКРОФОНА РЕШЕТКА.....	201

Веселин ДЕМИРЕВ	
ТЕХНОЛОГИЯТА SCP-RPSC – НЕИЗВЕСТНИЯТ ЛИДЕР В НАДПРЕВАРАТА ЗА ШИРОКОЛЕНТОВ МОБИЛЕН ДОСТЪП ДО СПЪТНИКОВИЯ СЕГМЕНТ.....	208
Владимир ДИМИТРОВ	
КОРЕНИТЕ НА ОРИЕНТИРАНАТА КЪМ УСЛУГИ АРХИТЕКТУРА.....	214
Владимир ДИМИТРОВ	
ЗАДАЧИТЕ ЗА ХОРА В ОРИЕНТИРАНАТА КЪМ УСЛУГИ АРХИТЕКТУРА.....	219
Николай БАНКОВ, Александър ВУЧЕВ, Ясен МАДАНКОВ	
АНАЛИЗ НА ВИСОКОВОЛТОВ РЕЗОНАНСЕН DC/DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛ ПРИ ОСНОВЕН РЕЖИМ НА РАБОТА.....	224
Николай БАНКОВ, Александър ВУЧЕВ, Ясен МАДАНКОВ	
АНАЛИЗ НА ВИСОКОВОЛТОВ РЕЗОНАНСЕН DC/DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛ ПРИ ГРАНИЧЕН РЕЖИМ НА РАБОТА.....	230
Младен МИТОВ	
МИКРОСОНДОВА СИСТЕМА ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПЛАЗМЕНИ ПАРАМЕТРИ.....	236
Tzeno GALCHEV	
MICRO-SCALE AND MACRO-SCALE SYSTEMS FOR HARVESTING KINETIC ENERGY OVER A WIDE RANGE OF APPLICATIONS AND IN MULTIPLE AXES.....	242
Николай ХИНОВ, Димитър АРНАУДОВ, Никола ГРАДИНАРОВ	
ИНЖЕНЕРНА МЕТОДИКА ЗА ПРОЕКТИРАНЕ НА РЕЗОНАНСНИ ИНВЕРТОРИ С ОБРАТНИ ДИОДИ.....	248
Димитър АРНАУДОВ, Николай ХИНОВ, Валери ГОЧЕВ, Николай НИКОЛОВ	
ЕЛЕКТРОННИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НА ЕНЕРГИЯ В ХИБРИДНИ СИСТЕМИ ИЗПОЛЗВАЩИ СУПЕРКОНДЕНЗАТОРИ.....	254
Николай ХИНОВ, Димитър АРНАУДОВ, Николай РАНГЕЛОВ, Валери ГОЧЕВ	
СХЕМИ НА ЕЛЕКТРОННИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НА ЕНЕРГИЯ В ХИБРИДНИ СИСТЕМИ, ИЗПОЛЗВАЩИ СУПЕРКОНДЕНЗАТОРИ.....	261
Николай РАНГЕЛОВ, Николай ХИНОВ, Димитър АРНАУДОВ	
СРАВНЯВАНЕ НА DC-DC КОНВЕРТОРИ С МЕКИ И ТВЪРДИ КОМУТАЦИИ ПРИ ЕДНАКЪВ ТОВАР.....	269
Борислав ГАНЕВ	
СЕНЗОРЕН МОДУЛ, ЗАХРАНВАН ПРЕЗ ETHERNET.....	276

ИНФРАЧЕРВЕНА ТЕРМОГРАФСКА ОЦЕНКА НА ТЕХНИЧЕСКОТО СЪСТОЯНИЕ НА ФОТОВОЛТАИЧНИ МОДУЛИ

Анна АНДОНОВА, Георги АНГЕЛОВ

Технически университет – София, София 1797, България, бул. “Кл. Охридски”
No. 8, Бл. 1, E-mail: ava@eca.tu-sofia.bg; gva@ecad.tu-sofia.bg

Abstract. Factors that influence the technical state under actual operating conditions of PV cells/modules are studied. The correlation between the size of a hot spot and reached a maximum temperature for some failures is analysed. It is shown that the infrared thermography is a powerful tool for diagnostic of PV modules degradation and defect propagation.

Keywords: PV modules degradation, defect propagation, infrared thermography.

УВОД

Фотоволтаични (PV) модули са най-надеждните елементи във фотоволтаичните системи. Въпреки това, са докладвани случаи [1] на дефекти в PV модули, които могат да причинят неизправности в системата. Данните за надеждността на PV модули не се показват в търговските спецификации, каквито се дават за електронни устройства. Високата надеждност на PV модулите индиректно се отразява върху гаранцията за изходна мощност, която в настояще е около 25 години, но може да стигне до 30 години в близко бъдеще. Широко известно е, че производителността на разгънатите на открито PV модули намалява непрекъснато с течение на времето. След няколко години на работа това намаление се отразява на надеждността на PV модули. Продължителността на живот и изходната мощност на един PV модул се отразяват върху цената на произведената енергия. Гарантирането на 20-годишен период на експлоатация се осигурява с протоколи (което е доста скъпо удоволствие) от ускорено изпитване, като например IEC 61215. Оценката на действителното техническо състояние в реални условия дава ценна информация при оценката на техническия ресурс

Постигането на дълъг живот на PV модули изисква систематичен подход за идентифициране на механизмите на неизправност и установяване на допустими нива на неизправност, както и разработка на икономически ефективни решения. Изследването на механизмите на неизправност на модулите може да доведе до постигане на по-високи нива на издръжливост. С такава цел са провеждани изследвания на модули за стареене в лаборатории и

на открито в реални условия на работа [2]. За анализ на деградацията в различни компоненти на PV модулите успешно може да се прилага дистанционен безразрушителен термографски подход. Използването на инфрачервена термография в условия на нормална експлоатация на PV модули дава информация за реалната топлинна равномерност и наличието на горещи точки (петна).

С инфрачервена камера могат да се диагностицират определен тип повреди, които по друг начин няма как да бъдат открити. Например, повреди свързани с: фотоволтаични клетки (окъсена клетка, фабрично обърната клетка, частично засегната от деляминация клетка); куплунг с лош контакт, незатегнати болтове в таблата, разклонителни кутии; опроводяване (повредена изолация).

Така съпротивлението на горещата точка на повърхността на PV модул се явява негова качествена характеристика и е от съществено значение за продължителността на живот (техническият ресурс).

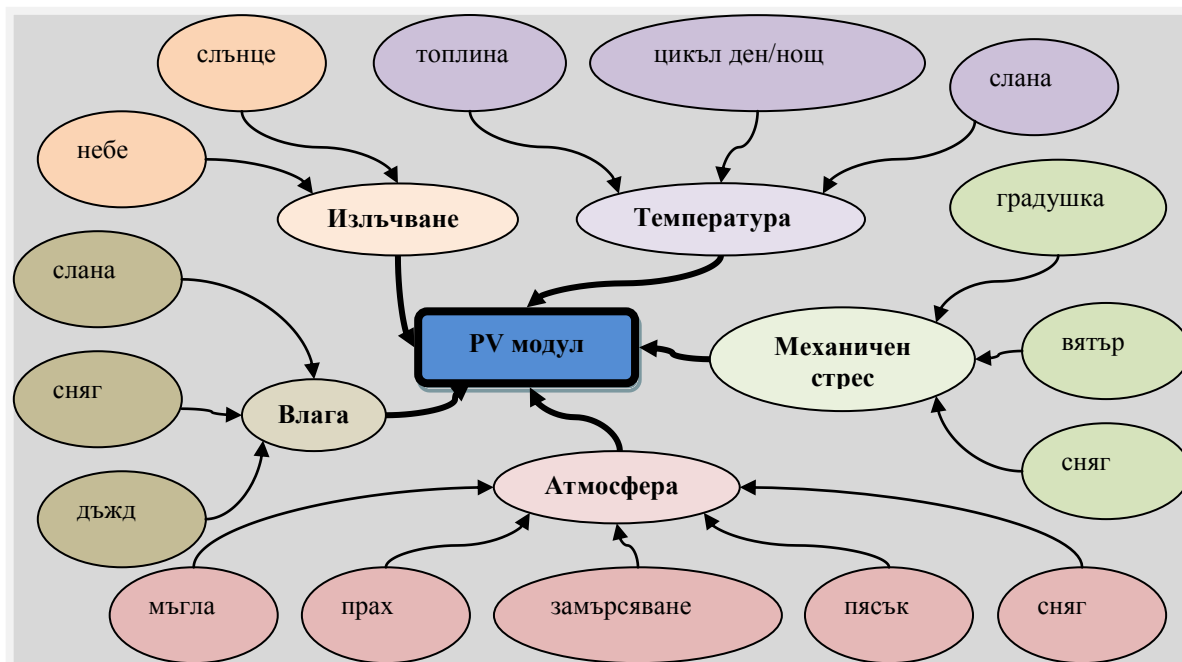
За извършване на инфрачервен анализ е използвана термовизионна камера SC640 (топлинна чувствителност 60mK при 30°C, сензорна матрица с 640x480 пиксела и IFOV 0.65 mrad). Данни от топлинно обследване веднъж годишно могат да се използват за оценка на остатъчния технически ресурс на модулите. Освен това редовната профилактика на съоръженията осигурява дълъг експлоатационен живот и намалява разходите за извънгаранционна поддръжка. Своевременната реакция при настъпване на авария пък е от съществено значение за постигане на висок среден добив. Практиката показва, че при липсата на дистанционен мониторинг аварии, довели до отпадане на част или дори на цялата инсталирана мощност, могат да останат неоткрити в продължение на седмици, носейки огромни загуби.

ФАКТОРИ ОКАЗВАЩИ ВЛИЯНИЕ ВЪРХУ ТЕХНИЧЕСКОТО СЪСТОЯНИЕ ПРИ РЕАЛНИ УСЛОВИЯ НА РАБОТА НА PV МОДУЛ

Високонадеждните елементи, пример за които са енергопреобразуващите елементи – светодоиди и фотоелектрически клетки изискват използването на рентабилни и достоверни начини за оценка на тяхната експлоатационна надеждност. На тези изисквания отговарят деградационните модели [3]. Такъв модел въз основа на деградацията на PV модул по време на експлоатацията му, успешно може да се използва за прогнозиране на надеждността и за количествена оценка на различни параметри свързани с надеждността, като например, средно време до отказ, гаранционен срок, ресурс.

PV модулите могат да деградират по време на работа в резултат на различни фактори като: деградация на корпусиращи материали; загуба на адхезия при капсулиране; деградация на опроводяването на клетка/модул; деградация причинена от проникване на влага; деградация на фотопреобразуващия елемент.

Различните видове стресове, на които е подложен един PV модул при реални условия на експлоатация за показани на Фиг.1.



Фиг.1. Видове стресове при реални условия на работа на PV модули

Установено е, че надеждността на PV модули зависи до голяма степен от материала на PV, температурата, влагата и излъчването на околната среда. Актуална задача е провеждането на допълнителни изследвания в реални условия на експлоатация. Като цяло, процесът на деградация, се проявява в два етапа – след първата година изходната мощност, например за монокристалните PV модули, деградира с около 1-3% годишно, а след втората година деградацията се понижава до 0,5-1% годишно. И при двата етапа скоростта на деградация е приблизително линейна [4].

Един от факторите, които могат да доведат до деградация, която се счита като неизправност е засенчването [5]. Локално загряване в рамките на PV модула, наричано "гореща точка", е друго събитие, което намалява изходната мощност и надеждността. Горещата точка на повърхността на модула може да е индикация за обратно свързана клетка, поради което се разсейва енергия под формата на топлина и не се произвежда електрическа енергия. Това се случва, и когато токът в клетката е по-малък от тока в клоната от PV клетки, което често може да е резултат от частично засенчване, повреждане на клетката, неизправност в опроводяването или неравномерна деградация на клетките.

Горещите точки са причина за повишаване на температурата в близките клетки, която усилва деградацията и намалява надеждността. Често се използват байпасни диоди за ограничаване на обратно напрежение на целия PV модул и за ограничаване нагриването на гореща точка [6, 7], но те се явяват слабо звено в модула. Нагриването от гореща точка е от особено значение, тъй

като води до увеличаване на деградацията и може да доведе до допълнителна неизправност.

Неправилен монтаж и неправилно свързвани модули също следва да се разглеждат, особено когато панелите са изложени на сериозни промени в условия на околната среда. Както е показано в Таблица 1, повечето неизправности на PV модулите могат да бъдат моделирани чрез деградиране на ефективността: с отворена верига (например при стареене на материала), или чрез късо съединение (напр. при засенчване, запрашеност или загуба на клетки в последователен клон). По този начин, неизправностите на PV модула се моделират с температурни изменения, които могат да се регистрират впоследствие с термокамера.

Таблица 1. Основни неизправности в PV модули и опроводяването им [3]

Неизправност	Ефект
Опроводяване, контакт или изолационна неизправност	Волтова дъга или отворена верига
Корозия на проводник, изводи и метални елементи на клетка (включително удар от градушка, влага и разслояване)	Отворена верига, ако е значителна корозията или намаляване на изходната мощност P_{PV}
Силно напукани, счупени, несъответстващи клетки (включително въздействие от градушка)	Обратно свързана клетка (намален ток на късо съединение I_{SC}) и / или прегряване (намалено напрежение на празен ход V_{OC})
UV атмосферно влияние	Деградация на материала (редуцирана P_{PV})
Замърсяване на оптичестката повърхност	Временно намаляване на P_{PV} и I_{SC}

Възможно е да се намери корелацията между работната температура на PV клетка/модул и трите основни променливи на околната среда – околна температура T_a в К, G_T слънчев радиационен поток във W/m^2 и скорост на вятъра V_f в ms . За система с p-Si PV модули [8] е изведена емпиричната връзка

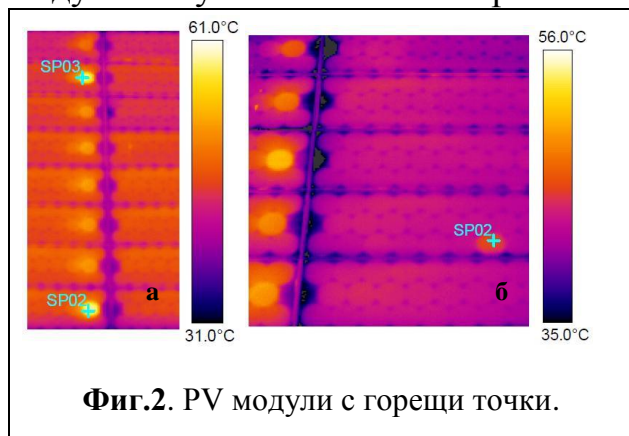
$$(1) \quad T_{cell} = T_a + \left(\frac{0,32}{8,91 + 2V_f} \right) G_T.$$

Следователно, IR термография дава възможност за определяне на температурата на повърхността и, следователно, всякакви отклонения от температурния модел на PV клетка/модул. Тази информация, заедно с данни за физическата конструкция и термодинамичното състояние на PV клетката/модула се използва за оценка на степента на увреждане (деградация).

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПОСТАНОВКА И РЕЗУЛТАТИ

За наблюдение на текущото състоянието и впоследствие оценка ефективността на функциониране на PV модул е използвана термографска

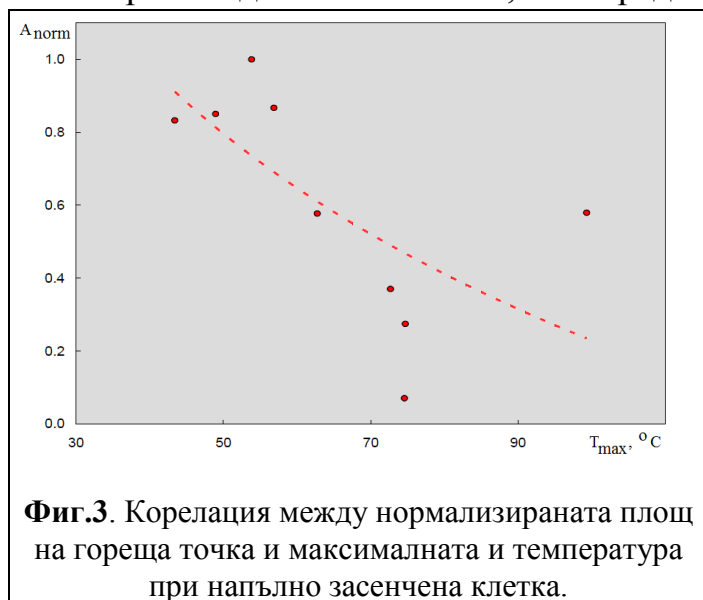
камера, със скорост на сканиране 30 кадъра в секунда. Идеята се основава на факта, че всяка аномалия на инспектираното оборудване спрямо топлинния модел при нормално функциониране предполага случай на дисбаланс. По-специално, отделни термографски измервания се прилагат за фотоволтаичен модул с известна, необичайно ниска производителност. След обработка на получените от измерването инфрачервени образи, извлечените данни за температурната се сравняват с тези при очаквания режим на работа на PV модула. Резултатите показват разположението на проблемни фотоеlementи.



Фиг.2. PV модули с горещи точки.

Забелязва се, че всички модули, чиито клетки са разположени пред разпределителната кутия, винаги показват по-висока температура ($\sim 4^{\circ}\text{C}$) по отношение на останалата част от площта на модула, поради изолационни ефекти. Това е важен резултат, който показва, че горещи точки могат да се формират пред разпределителната кутия, където прегряването достига до около 10°C по отношение на останалата част от повърхността на модула - Фиг.1а. Клетки частично засегнати от деляминация също показват по-висока температура. Увеличаването на деляминацията върху цялата площ на една клетка може да доведе до формиране на горещо петно - Фиг.1б.

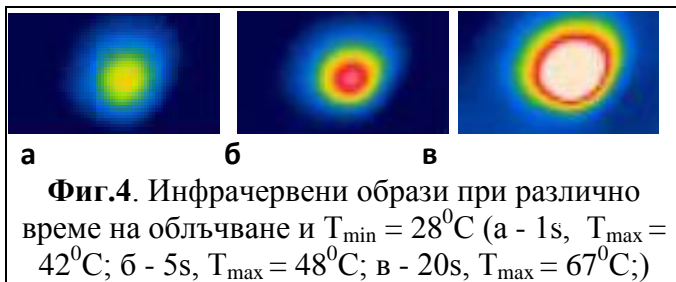
Трябва да се отбележи, че преди всяко термографско измерване се



Фиг.3. Корелация между нормализираната площ на гореща точка и максималната температура при напълно засенчена клетка.

извършва първоначално калибриране за компенсиране влиянието на околната и отразената температура. Измерва се коефициента на емисия на обследваните повърхности на PV модулите.

Извършено е изследване и за определяне на корелацията между размера на горещата точка и достигнатата максимална температура при напълно засенчена клетка. Резултатът е показан на Фиг.3.



Фиг.4. Инфрочервени образи при различно време на облъчване и $T_{\min} = 28^{\circ}\text{C}$ (а - 1s, $T_{\max} = 42^{\circ}\text{C}$; б - 5s, $T_{\max} = 48^{\circ}\text{C}$; в - 20s, $T_{\max} = 67^{\circ}\text{C}$;)

От корелационната линия е изведена емпирична зависимост между размерът на горещата точка и максималната температура. По-високата плътност на утечния ток води до по-висока максимална температура при намаляване на размера на горещата точка. На

Фиг.4 са показани резултати от изследване на гореща точка при различно време на облъчване.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

IR термографска диагностика предлага значителни възможности за откриване и предоставяне на ценна информация по отношение на точното местоположение на всяка дефектна клетка и евентуално увеличаване на дефектните части. Анализът на инфрочервените образи от диагностиката на PV модули дава полезна информация за оценка на техническото състояние.

Благодарност

Настоящото изследване е подкрепено от ФНИ - Проект ДФНИ-И01/9.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Maish A. Defining requirements for improved photovoltaic system reliability. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 7, pp.165–173, 1999.
- [2] Coit W., L. Evans, T. Vogt, R. Thomson. A method for correlating field life degradation with reliability prediction for electronic modules. Quality and Reliability Engineering International, 21, pp. 715–726, 2005.
- [3] Vázquez M., I. Rey-Stolle. Photovoltaic module reliability model based on field degradation studies, Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 16, pp. 419-433, 2008.
- [4] Ghali A., A. Syam, M. Abdelaziz. Alternative configurations of PV module for minimizing the fault effect, IEEE International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science, pp. 1085-1089, 2003.
- [5] Simon M. et al. Detection and analysis of hot-spot formation in solar cells, Solar Energy Materials & Solar Cells, 94, pp. 106-113, 2010.
- [6] TamizhMani G., B. Li, T. Arends, J. Kuitche, B. Raghuraman, W. Shisler, K. Farnsworth, J. Gonzales, A. Voropayev, and P. Symanski. Failure analysis of design qualification testing: 2007 VS. 2005, IEEE Photovoltaic Specialists Conference, pp. 1-4, 2008.
- [7] Jeongje P., L. Wu, C. Jaeseok, A. A. El-Keib, M. Shahidehpour, and R. Billinton. A probabilistic reliability evaluation of a power system including Solar/Photovoltaic cell generator, IEEE Power and Energy Society General Meeting, pp. 1-6, 2009.
- [8] Skoplaki E., G. Boudouvis, A. Palyvos. A simple correlation for the operating temperature of photovoltaic modules of arbitrary mounting, Solar Energy Materials & Solar Cells, 92, pp. 1393– 1402, 2008.